

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**TAKTISEN TASON LENNOKKITIEDUSTELUN KYKY 2010-LUVULLA**

Kandidaatintutkielma

Kadettilylikersantti  
Raine Hirvisaari

Kadettikurssi 97  
Maasotalinja

Maaliskuu 2013

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi	Linja
Kadettikurssi 97	Maasotalinja
Tekijä	
Kadettilylikersantti Raine Hirvisaari	
Tutkielman nimi	
<b>Taktisen tason lennokkitiedustelun kyky 2010-luvulla</b>	
Oppiaine, johon työ liittyy	Säilytyspaikka
Sotatekniikka	Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Maaliskuu 2013	Tekstisivuja 23 Liitesivuja 2
<b>TIIVISTELMÄ</b>	
<p>Miehittämättömien ilma-alusten käyttö taistelukentän tilannetietoisuuden tarjoajana on lisääntynyt merkittävästi 1990-luvulta alkaen. Maavoimien uudistetun taistelutavan myötä juuri tilannetietoisuuden rooli operaatioiden voittamiseksi on korostunut entisestään. Tähän nykyajan sodan kuvan luomaan vaatimukseen taktisen tason tiedustelukäyttöön tarkoitetut miehittämättömät ilma-alukset kykenevät vastaamaan nopeasti reagoivina ja taistelukentältä lähes reaaliaikaista dataa tuottavina moderneina tiedusteluvälineinä.</p>	
<p>Tutkimuksen avulla selvitettiin vastaus päätutkimusongelmaan: mikä on taktisen tason lennokkitiedustelun tekninen kyky 2010-luvulla? Tähän kysymykseen vastaamista pohjustettiin ensin selvittämällä, mikä on nykyajan sodan kuva ja millaisia vaatimuksia se luo lennokkitiedustelulle. Miehittämättömillä ilma-aluksilla toteutettavan tiedustelun teknistä kykyä mitattiin tarkastelemalla hyötykuormana olevien sensorien suorituskykyä muun muassa Johnsonin kriteerin avulla. Tutkimus laadittiin kvalitatiivisena kirjallisuusselvityksenä, jossa on hyödynnetty asiakirja- sekä tekstianalyysia aineistonkeruumenetelmänä.</p>	
<p>Tutkielman mukaan taktisen tason tiedustelukäyttöön suunniteltujen miehittämättömien ilma-alusten tekninen kyky ja samalla niiden maajoukoille luoma uhka ovat merkittäviä. Moderni tiedustelulennokki kykenee sensorien osalta toimimaan lähes sää- ja valaisuolosuhteista riippumatta.</p>	
<p>Tutkija kiittää tutkielman laatimisessa avustaneita ja tutkimuksen aikana työn edistymistä edesauttaneita ohjaajiaan, insinöörikapteeni Mika Niemistä Ilmavoimien Teknillisestä koulusta sekä insinöörikapteeni Tapio Haapamäkeä Ilmasotakoululta.</p>	
<b>AVAINSANAT</b>	
Erottelukyky, miehittämätön ilma-alus, sensori, sodan kuva, tiedustelu, tiedustelulennokki	

# TAKTISEN TASON LENNOKKITIEDUSTELUN KYKY 2010-LUVULLA

## SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
1.1	TUTKIMUKSEN TAUSTA, PÄÄMÄÄRÄ JA RAKENNE .....	1
1.2	TUTKIMUSKYSYMYKSET.....	4
1.3	TUTKIMUSOTE, LÄHDEKRITIIKKI JA RAJAUKSET.....	5
<b>2</b>	<b>NYKYAJAN SODAN KUVA.....</b>	<b>7</b>
2.1	LENNOKKITIEDUSTELULLE ASETETUT VAATIMUKSET .....	8
2.2	LÄHITULEVAISUUDESSA ODOTETTAVAT MUUTOKSET LENNOKKITIEDUSTELULLE ASETETTUIHIN VAATIMUKSIIN .....	10
<b>3</b>	<b>TAKTISEN TASON LENNOKKITIEDUSTELUN TEKNINEN KYKY 2010- LUVULLA.....</b>	<b>11</b>
3.1	LENNOKKITIEDUSTELUN TEKNISEN KYVYN MITTAAMINEN .....	12
3.2	NYKYHETKEN TIEDUSTELULENNOKIN TIEDUSTELUOMINAISUUDET.....	14
3.3	LÄHITULEVAISUUDESSA ODOTETTAVISSA OLEVA KEHITYS TIEDUSTELULENNOKIN TIEDUSTELUOMINAISUUKSISSA .....	17
<b>4</b>	<b>YHDISTELMÄ .....</b>	<b>19</b>
4.1	KESKEISIMMÄT JOHTOPÄÄTÖKSET .....	19
4.2	JATKOTUTKIMUKSEN TARVE.....	22
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>24</b>
	<b>LIITTEET.....</b>	<b>28</b>

# **TAKTISEN TASON LENNOKKITIEDUSTELUN KYKY 2010-LUVULLA**

## **1 JOHDANTO**

### **1.1 Tutkimuksen tausta, päämäärä ja rakenne**

Miehittämättömien ilma-alusten (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) kehitys on viime vuosikymmeninä ollut nopeaa. Ennen kuin yhdysvaltalaiset miehittämättömät ilma-alukset pääsivät ensimmäisen kerran osoittamaan todelliset kykynsä vuonna 2001 Enduring Freedom -operaatiossa Afganistanissa, kukaan tuskin osasi aavistaa, että nämä UAV:t nousisivat jo muutamassa vuodessa lähes tavanomaisten miehitettyjen ilma-alusten rinnalle. UAV:iden runsasta käyttöä ja nopeaa kehitystyötä selittää ihmishenkien säästämisen ohella niiden kustannustehokkuus verrattuna miehitettyihin ilma-aluksiin. Miehittämättömien ilma-alusten suuri suosio on johtanut siihen, että niitä on vuosien saatossa kehitetty hyvin monta eri mallia, jotka on suunniteltu suorittamaan hyvin erilaisia tehtäviä aina ilmasta käsin tapahtuvasta tiedustelusta sekä maalinosoituksesta nykyään myös tulivaikutukseen. [30] Tutkimuksen aiheena olevan lennokitiedustelun lisäksi miehittämättömät ilma-alukset nimittäin kykenevät nykyään suorittamaan esimerkiksi itsenäisiä liikkuvan maalin etsintä- ja tuhoamistehtäviä [12; 29].

Miehittämättömissä ilma-aluksissa on konventionaalisiin ilma-aluksiin verrattuna monia etuja. Ensinnäkään ohjaajan ei tarvitse asettaa itseään vaaraan lentäessään esimerkiksi ilmatorjunnalla suojatulla alueella, sillä miehittämättömän ilma-aluksen ohjaaja on todennäköisesti vähintään kilometrien, ellei jopa tuhansien kilometrien päässä itse lentolaitteesta. UAV:n opeeraattorin riski joutua vihollisen uhkaamaksi on siis hyvin paljon pienempi perinteisen lentokoneen tai helikopterin lentäjään verrattuna. [18; 30] Sen lisäksi ohjaajan fyysisen läsnäolon puuttuminen itse ilma-aluksesta tekee UAV:sta osittain ylivoimaisen myös lentämisessä. Ihmisen anatomiasta johtuvat fysiologiset ominaisuudet nimittäin asettavat rajat lentokoneen kyydissä fyysisesti olevan ohjaajan tekemiin ohjausliikkeisiin ihmiskehon rajujen kiihtyvyyksien

huonon sietokyvyn takia [18; 22]. Miehitämättömällä ilma-aluksella operaattori voi ainakin teoriassa tehdä niin jyrkkiä käännöksiä kuin mitä UAV:n runko ja muut lentämisen kannalta kriittiset osat vain kestävät. Lisäksi ihmisen henkinen ja fyysinen toimintakyky laskee pitkäkestoissa operaatioissa mekaanisiin koneisiin verrattuna paljon nopeammin. UAV:n ohjaajaa voidaan tarvittaessa vaihtaa jopa kesken ilmaoperaation, jolloin UAV:ta ohjaavan operaattorin vireystila voidaan maksimoida riippumatta siitä, kuinka kauan operaatio on kestänyt. [18]

Yleisen teknologisen kehityksen ansiosta UAV:t kehittyvät ominaisuuksiltaan jatkuvasti paremmiksi. Ne kykenevät aikaisempaa parempaan tarkkuuteen tiedustelun näkökulmasta sensoritekniikan kehittyessä. Lennokkitiedustelun aiheuttama uhka siis kasvaa jatkuvasti teknologian kehittymisen sekä käytössä olevien UAV:iden lukumäärän kasvaessa. Tutkimuksen aihe on siis ajankohtaisuutensa lisäksi myös tärkeä, sillä UAV-tiedustelun lähitulevaisuuden kehitys etenkin hyötykuormana olevien sensorien osalta saattaa jopa muuttaa sodan kuvaa sekä taistelukentällä maajoukkoihin kohdistuvia pahimpia uhkia. Ensivaikutelmaltaan harmittomalta vaikuttava, pienikokoinen tiedustelu-UAV ei välttämättä enää vaikuta niin vaarattomalta sen jälkeen, kun sitä voi seurata raskas tykistökeskitys havaittuun viholliskohteeseen [29].

Tutkimuksen aihe valittiin ensinnäkin edellisessä kappaleessa mainituista perusteluista aiheen ajankohtaisuudesta ja tärkeydestä johtuen, mutta myös erityisestä kiinnostuksesta UAV:ta kohtaan tutkijan aselajin näkökulmasta. Tulevana ilmatorjuntaupseerina tutkijaa kiinnostavat erilaiset ilma-alukset sekä etenkin niiden muodostama uhka maalla toimivien sotilaiden näkökulmasta. Tällä hetkellä miehitetty ilma-alus, esimerkiksi rynnäköpommittaja, muodostaa suuremman uhan ilmatorjuntajoukoille kuin lennokki, mutta UAV:iden ominaisuuksien kehityksessä tämä tilanne voi olla hyvinkin nopeasti toisin. Tulevaisuudessa saatetaan jopa painottaa miehitämättömien ilma-alusten alasampumisen tärkeyttä verrattuna miehitettyihin versioihin. Tässä tutkielmassa keskitytään kuitenkin tutkimaan taktisen tason lennokkitiedustelun vallitsevaa kykyä.

Tutkielman aiheesta ei suoranaisesti ole tehty tutkimusta Maanpuolustuskorkeakoululla, mutta aihetta sivuavia tutkimuksia on useampia. Suurin osa laadituista tutkimuksista on kuitenkin tehty Taktiikan laitokselle. Puuperän esipäätöskurssin tutkielma on yksi niistä harvoista töistä, jotka on laadittu sotatekniikka pääaineena. Taulukossa 1 on esitetty tämän tutkimuksen aihetta sivuavia tutkielmia.

Taulukko 1. Tutkimuksen aihetta sivuavia tutkielmia

<b>Tekijä</b>	<b>Tutkielman aihe</b>	<b>Tutkielman taso</b>
Kananen, J.	Miehittämättömät ilma-alukset, niiden kehitys sekä käyttö viimeaikaissa sodissa	Pro Gradu -tutkielma
Keskinen, J.	Tulenjohtaminen Ranger-järjestelmällä	Kandidaatintutkielma
	Tulenjohtotehtävän suorittaminen ja edellytykset Ranger-lentotiedusteluyksiköllä	Pro Gradu -tutkielma
Kuusisto, M.	Ilma-aseen toimintakyky pimeällä	Pro Gradu -tutkielma
Mannismäki, E.	Sotilasilmailuteollisuuden kehityksestä ja nykytilasta	Pro Gradu -tutkielma
Puuperä, S.	Miehittämätön taisteluilma-alus UCAV, teknologiakatsaus	Esiupseerikurssin tutkielma
Viitala, J.	Miehittämättömien ilma-alusten käyttömahdollisuudet ilmasta maahan -aseiden tarvitseman maalitiedon hankinnassa ilmatorjunnan suojaamassa ympäristössä	Esiupseerikurssin tutkielma

Tämän tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena on selvittää, mikä on taktisen tason lennokkietiedustelun tekninen kyky tällä hetkellä. Tarkoituksena on tuottaa käytännönläheisiä tuloksia, joita voidaan hyödyntää esimerkiksi varusmiesten sekä Puolustusvoimiin kuuluvan henkilökunnan koulutuksessa. Tutkimuksessa selvitetään, kuinka tarkkaan erottelukykyyyn moderni tiedustelulennokki pystyy ja mitä muuta tiedustelulennokit kykenevät tekemään kuin esimerkiksi ottamaan tavanomaisia valokuvia ilmasta käsin. Tutkielmassa selvitetään myös, mitä lähitulevaisuudessa on odotettavissa taktisen tason tiedustelulennokkien teknisen kyvyltä.

Tutkimuksen rakenteesta on pyritty muodostamaan lukijalle mahdollisimman looginen kokonaisuus, jonka ensimmäisessä luvussa käsitellään tutkimuksen syntyyn ja lähtöasetelmiin vaikuttaneita tekijöitä. Tässä luvussa käyvät ilmi muun muassa syyt tutkijan tekemille rajauksille. Toisessa luvussa käsitellään tämän hetken ja hieman myös lähitulevaisuuden sodan kuvaa. Sota on aikakautensa tuote, vaikka tietyt perusasiat ovat pysyneet muuttumattomana jo satoja vuosia. Se, minkälainen sota on, määrittelee vaatimukset sodan toimijoille. Näin ollen se, miten sota nähdään nykyhetkenä, on määritellyt vaatimukset myös nykyisille taktisen tason tie-

dustelu-UAV:lle. Tiedustelu-UAV:t on kehitetty ja valmistettu vastaamaan johonkin tarpeeseen ja tehtävään. Kolmannessa luvussa tutkija käsittelee taktisen tason miehittämättömän ilma-aluksen tiedustelusensorien toimintaperiaatteita, suorituskykyä sekä yleisiä ominaisuuksia teknisestä näkökulmasta. Tutkija tarkastelee tässä kappaleessa IAI:n valmistamaa Tamam POP-300 -monisensoria, joka on asennettu ja käytössä Yhdysvaltain maavoimien operatiivisessa käytössä olevassa miehittämättömässä ilma-aluksessa. Tämän kappaleen jälkeen esitellään muutama 2010-luvulla oletettavasti käyttöön otettavista tiedustelulaitteista. Tutkimuksen tärkeimmät johtopäätökset ja jatkotutkimuksen tarve esitetään tiivistetysti neljännessä luvussa.

Tutkimuksessa pyritään tästä kappaleesta eteenpäin tietoisesti välttämään termiä ”lennokki” käsiteltäessä miehittämättömiä ilma-aluksia. Lennokki-termiä on käytetty aikaisemmin yleisesti puolustusvoimien julkaisuissa, mutta tämä termi on kuitenkin harhaanjohtava. Lennokki-termin juuret ovat pääosin siviili- ja harrasteilmailussa, jossa sillä tarkoitetaan yleensä pienikokoista, pääosin vapaa-ajan taitolentoon soveltuvaa kauko-ohjattavaa lentokonetta. Sotilas-ympäristössä nämä niin kutsutut lennokit ovat nykyään suurimmillaan jo konventionaalisen lentokoneen kokoisia ja sisältävät paljon kehittyntä teknologiaa, joten lennokki-termin käyttö ei palvele haluttua tarkoitusta. [10]

## 1.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimusongelma ja tutkimuksen pääkysymys on:

- Mikä on taktisen tason lennokkitiedustelun tekninen kyky 2010-luvulla?

Tutkimuksen pääkysymyksestä johdetut alakysymykset ovat:

- Minkälainen on nykyajan sodan kuva?
  - Minkälaisia vaatimuksia se asettaa lennokkitiedustelulle?
  - Onko 2010-luvun loppuun mennessä odotettavissa muutoksia sodan kuvaan?

Päätutkimuskysymyksellä pyritään löytämään tietoa tutkielman aiheena olevasta taktisen tason lennokkitiedustelun kyvystä. Tutkielman aihetta ja näin ollen myös tutkimuskysymyksiä tarkastellaan pääosin teknisestä näkökulmasta sotatekniikan ollessa tutkijan valitsema pääaine. UAV-tiedustelun kyky on ajan myötä muokkautunut vastaamaan miehittämättömillä ilma-aluksilla suoritettavalle tiedustelulle asetettuja vaatimuksia, sillä kysynnän ja tarjonnan laki pätee muiden teollisuuden alojen lisäksi myös sotatarviketeollisuudessa. Sodan kuva taas on

se elementti, joka asettaa edellä mainitut vaatimukset. Sodan kuvan ja sen UAV-tiedustelulle asettamien vaatimusten tutkimisen kautta tutkija pystyy luomaan pohjan UAV-tiedustelun teknisen kyvyn määrittämiselle. Kun tutkija on ensin selvittänyt, mitä miehittämättömillä ilma-aluksilla suoritettavalta tiedustelulta vaaditaan, on helpompi ymmärtää UAV-tiedustelun kyky ja ominaisuudet niin nykyhetken kuin myös lähitulevaisuuden osalta. Tutkimuksen pääkysymyksestä johdetut alakysymykset ovat siis perusteltuja ja tukevat päätutkimuskysymystä.

### 1.3 Tutkimusote, lähdekritiikki ja rajaukset

Tämä tutkimus on laadullinen kirjallisuusselvitys, jossa on hyödynnetty tiedonkeruumenetelmänä asiakirja- ja tekstianalyysia. Kvalitatiivinen tutkimusote on hermeneuttinen tarkoittaen sitä, että tutkimuksessa tulkinnalla ja ymmärtämisellä on suuri rooli. Tutkimuksessa on päädytty käyttämään laadullista tutkimusotetta tutkittavan aiheen singulaarisuuden vuoksi. Kvalitatiivisen tutkimuksen tavoitteena on ymmärtää tutkittavaa asiaa syvällisesti ja näin lisätä tietoa tutkimuksen aiheena olevasta ilmiöstä eikä niinkään toimia tuomitsevasti tutkittavan ilmiön suhteen. [25]

Lähdemateriaalina on hyödynnetty muun muassa alaan liittyvää kirjallisuutta, artikkeleita sekä luentomateriaalia. Tavoitteena on ollut hyödyntää mahdollisimman paljon alkuperäislähteitä tiedon vääristymisen minimoimiseksi. Miehittämättömät ilma-alukset ovat vielä sen verran tuore ilmiö ilma-alusten rintamalla, että suuri osa tutkimuksessa käytettävästä lähdemateriaalista on englanninkielistä, mikä lisää väärinkäsitysten riskiä. Internet-lähteitä hyödynnettäessä on pyritty pitäytymään tutkimuspapereissa tai vastaavan tasoisessa materiaalissa luotettavuuden varmistamiseksi. Lähdemateriaalin luotettavuus on arvioitu jokaisen lähteen kohdalla erikseen pitäen tutkimustyötä kirjoitettaessa mahdollisimman objektiivinen näkökanta mielessä. Etenkin erilaisia valmistajan esitteitä on hyödynnetty erityisen kriittisestä näkökulmasta.

Tutkimuksen näkökulma aiheeseen on puhtaasti teoreettinen sekä tekninen, ja aihe on tietoisesti rajattu koskemaan Yhdysvaltain armeijan operatiivisessa käytössä olevan, AAI:n valmistaman RQ-7B Shadow 200 -mallisen, taktisen tason tiedustelukäyttöön tarkoitetun miehittämättömän ilma-aluksen kykyä teknisten tiedusteluominaisuuksien näkökulmasta. Aihe on rajattu edellä mainitulla tavalla, koska tutkijaa kiinnostavat juuri tämän tasoisen UAV-tiedustelun tekniset ominaisuudet. Lisäksi tässä kandidaatintutkielmassa on keskitytty pääosin nykyhetkeen, mutta tutkimuksessa otetaan kantaa myös lähitulevaisuudessa odotettavissa olevaan lennokkitiedustelun teknisen tiedustelukyvyn kehitykseen. Tämä tarkentava raja on va-



littu siksi, että jo pelkästään nykyhetken UAV-tiedustelussa riittää tutkittavaa useammankin tutkielman verran. Lisäksi teknologisen ennusteen, joka ajoittuisi vuosikymmenen tai parin päähän, tekeminen UAV-tiedustelusta on hyvin haastavaa muun muassa Mooren lain takia. Tämän oikeaksi todistamattoman, mutta käytännössä hyvin paikkaansa pitävän lain mukaan transistorien lukumäärä kaksinkertaistuu mikropiireissä joka toinen vuosi [17]. Tämä aiheuttaa sen, että UAV-tiedustelun tulevaisuutta esimerkiksi 2020-luvulla on hyvin vaikea ennustaa tarkasti.

## 2 NYKYAJAN SODAN KUVA

Maanpuolustuskorkeakoulun Taktiikan laitos määrittelee sodan kuvan seuraavalla tavalla: ”Sodan kuva on kokonaisvaltainen näkemys siitä, miten aseellista voimaa tulevaisuuden konflikteissa käytetään, mihin se kohdistuu ja miten se vaikuttaa koko yhteiskuntaan.” Sodan kuva sisältää myös taistelun kuvan, jolla tarkoitetaan yksityiskohtaisempaa näkemystä tulevaisuuden taistelukentän olosuhteista sisältäen muun muassa toimintaolosuhteet taistelukentällä käytettävine ja vaikuttavine tiedustelu- sekä asejärjestelmineen. [23] Edellä mainittu määritelmä sodan kuvalle sen sisältämine alakäsitteineen ei ole käytännönläheisyydeltään aivan sitä, mitä tutkija tavoittelee. Tästä syystä tutkija lähestyy seuraavaksi sodan kuva -käsitettä käytännönläheisemmässä muodossa.

Sanat luovat eri ihmisille erilaisia mielikuvia. Sana ”sota” tuo monelle mieleen hyvin negatiivissävyytteisiä asioita, kuten kärsimystä ja tuhoa. Ihmiset ovat usein joko itse kokeneet tai esimerkiksi nähneet elokuvista, kuinka sota repii ihmisiä kappaleiksi niin henkisesti kuin fyysisestikin. Tämän tutkimuksen kannalta on irrelevanttia, kuinka eri edustajat subjektiivisesti näkevät sodan. Tärkeämpää on se, mitä sota todellisuudessa on. Millaista sota on objektiivisesti tarkasteltuna? Tästä kohdasta eteenpäin tätä objektiivista mielikuvaa sodasta kutsutaan sodan kuvaksi. Sodan kuva tarkoittaa siis käytännössä sitä, mitä taistelukentällä on olemassa.

Sodan kuvaa tarvitaan muun muassa sotilasdoktriinin ja siten myös Suomen puolustusvoimien organisoimisen sekä kehittämisen pohjaksi. Sitä tarvitaan myös lähtökohdaksi aseteknologian ja muun sotavarustuksen kehittämiseksi sekä erilaisten hankintojen suuntaamiseksi tarpeellisille toimintasektoreille. Sodan kuvan tärkein käyttö on kuitenkin joukkojen kouluttamisessa. Kuinka sotilas voi oppia toimimaan oikein taistelukentällä, jos hän ei tiedä, mitä taistelukentällä on odotettavissa? Kuinka sotilas voi harjoitella jotakin sellaista asiaa varten, jota hän ei ymmärrä? Sodan kuvaa tarvitaan siis siihen, että sotilasjoukkojen koulutus osataan suunnitella ja toteuttaa tarkoitusta vastaavaksi. [24]

Jokaisella valtiolla on oma sodan kuvansa, joka usein poikkeaa muiden valtioiden vastaavista. Muun muassa erilaiset sotilaalliset uhkamallit sekä valtioiden erityispiirteet aiheuttavat sodan kuvissa olevat eroavaisuudet. [23] Tällä hetkellä suurvallan käsitys sodan kuvasta ei korosta niinkään sotajoukkojen määrää, vaan laatua. Esimerkiksi toisesta maailmansodasta tuttujen rintamalinjojen merkitys on hiipunut. Suurvallan sodan kuvan mukaan tärkeintä ei ole tietyn maaston valtaaminen, vaan yksinkertaisesti vastustajan tuhoaminen. Epäsymmetrinen sodan-

käynti on tänä päivänä yksi olennaisesti sodan kuvaan liittyvä asia. Epäsymmetrisellä sodankäynnillä tarkoitetaan niin sotilaallista kuin myös ei-sotilaallista toimintaa, jossa käytetään totutusta poikkeavia keinoja tai välineitä. Maailmanlaajuisesti levinnyt terrorismi sekä sissisota eri muodoissaan ovat hyviä esimerkkejä epäsymmetrisestä sodankäynnistä. [24]

Suomen puolustusvoimien maavoimat on puolustusvoimauudistuksen myötä muutoksen edessä monellakin eri tavalla. Maavoimien taistelutapa päivittyy muun muassa siitä syystä, että puolustusvoimauudistuksessa joukkojen määrää ollaan radikaalisti vähentämässä. Maavoimien uusi taistelutapa on entiseen verrattuna paljon hajautetumpi. Sellainen alue, johon aiemmin olisi tarvittu puoli joukkuetta, pidetään hallussa uudessa taistelutavassa jopa vain partion voimin. Tämän hajautetun taistelutavan käyttö on kannattavaa ainoastaan silloin, kun omilla joukoilla on tilannetietoisuudessa ylivoima viholliseen nähden. Tiedustelu-UAV:t ovat tässä tilanteessa erittäin hyödyllisiä, sillä ne voivat tiedustella taistelukentällä ilmasta käsin esimerkiksi vihollisen laadun, määrän ja suuntautumisen. [5; 9; 12] Tulee kuitenkin muistaa, ettei se riitä, että vain tiedustelu-UAV saa dataa alueella olevista vihollisista. Tämä tiedustelujärjestelmän sensorien kautta saatu data täytyy myös prosessoida ja lähettää eteenpäin esimerkiksi maassa oleville omille joukoille. [11] Pelkän datan hankkimista ilman sen toimittamista johdotoportaille voi verrata rynnäkkökiväärin patruunaan: siitä ei ole varsinaista hyötyä, ellei sitä voida toimittaa kohteeseen itse aseensa avulla. Ei tiedustelutiedoistakaan ole konkreettista hyötyä, ellei niitä saada taistelukentällä olevien joukkojen päätöksenteon tueksi. Tässä kandidaattitutkielmassa ei kuitenkaan pureuduta kerättyjen tiedustelutietojen eteenpäin välittämisen dilemmoihiin, vaan tutkielmassa keskitytään tiedustelutietojen erilaisiin hankkimistapoihin.

## 2.1 Lennokkitiedustelulle asetetut vaatimukset

Nykyaikaisella taistelukentällä vallitsee jatkuva muutoksen murros. Tilanne voi muuttua hetkessä täysin ennalta arvaamattomaksi. Toimintaympäristö voi kokea suuriakin muutoksia hyvin lyhyessä ajassa. Esimerkiksi alun perin hyvin tiheään kasvanut metsä voi raskaan tykistökeskityksen vaikutuksesta muuttua kymmenessä minuutissa hieman tavallisesta poikkeavaksi hakkuuaukeaksi. Nopeasti muuttuvalla taistelukentällä tilannetietoisuuden merkitys johtamisen kannalta korostuu. Tilannetietoisuuden säilyttäminen esimerkiksi erilaisia tiedustelutietoja hyödyntämällä onkin hyvin kriittistä. [11; 12]

Ilmatiedustelu sopii nykyajan sodan kuvaan erinomaisesti. Vaikka tilanne maalla voi olla hyvin sekava, niin ilmasta käsin tapahtuvalla tiedustelulla voidaan ylläpitää lähes reaaliaikaista sekä yksityiskohtaista tilannekuvaa tapahtumista. Taistelualueen tiedustelu ja valvonta on nykyajan tekniikalla mahdollista toteuttaa monisensorisena kokonaisuutena. Tämä kokonaisuus sisältää esimerkiksi valokuvaus-, infrapuna- sekä tutkatekniikkaa hyödyntäviä laitteistoja. Kunkin tilanteeseen parhaiten sopivat laitteistot määräytyvät ensisijaisesti suoritettavan tehtävän mukaan. Esimerkiksi strategisen tason ilmatiedustelulla on tarkoitus hankkia perustiedot taistelukentästä ja suorittaa laajaa aluevalvontaa, kun taas taktisella ilmatiedustelulla selvitetään yksityiskohtaisemmin taistelukentällä olevien kohteiden ryhmitys, sijainti ja laatu. UAV soveltuu tasosta riippumatta hyvin käytettäväksi taistelukentän ilmatiedusteluun, sillä tiedustelu-UAV:lla saatujen hyvin tarkkojen ja lähes reaaliaikaisten tiedustelutietojen avulla kyetään esimerkiksi suorittamaan ennen tulivalmistelun ja hyökkäyksen aloittamista tapahtuva vihostilanteen varmistaminen. [12]

Sodassa halutaan toisaalta saavuttaa tavoitteet hinnalla millä hyvänsä, mutta toisaalta taas halutaan pääsääntöisesti välttää ihmistappioita viimeiseen saakka. Nämä nykyajan sodan kuvan ja osittain ihmisluonteen asettamat vaatimukset tulevat miehittämätöntä ilma-alusta käytettäessä täytettyä. Monipuolisesti varustellun tiedustelu-UAV:n käytöllä voidaan saavuttaa suuri osuus siitä, mikä konventionaalisella tiedustelulentokoneella on saavutettavissa, kuitenkin ilman henkilöstötappioiden välitöntä uhkaa. Jos nimittäin miehittämätön ilma-alus ammutaan taistelukentällä alas, menetetään siinä käytännössä vain yksi ilma-alus, jonka arvo on yleisesti ottaen huomattavasti halvempi kuin perinteisen miehitetyn lentokoneen. [29]

Nykyajan sodankäynnissä on myös mahdollista, että lento-operaatiot kestävät niin kauan, ettei konventionaalisessa ilma-aluksessa oleva lentäjä enää jaksakaan toimia omalla normaalilla suoritusallasellaan. Ajallisesti pitkäkestoiset operaatiot vaativat näin ollen lentokoneen ohjaajan vaihtamista tavoitellun suorituskyvyn ylläpitämiseksi, jolloin konventionaalisen ilma-aluksen on laskeuduttava ohjaajan vaihtoa varten. Miehittämättömien ilma-aluksien tapauksessa laitteen käyttäjää, operaattoria, voidaan vaihtaa kesken operaation lentolaitteen ollessa toiminta-alueella ilmassa. [18]

## 2.2 Lähitulevaisuudessa odotettavat muutokset lennokkitiedustelulle asetettuihin vaatimuksiin

Sota on aikakautensa tuote. Toisin sanoen, kun toimintaympäristö ja sen toimijat muuttuvat, niin samalla sota ja sodan kuva kehittyvät. Lähitulevaisuudessa taistelukentällä toimivien joukkojen koko pienenee, käytettävien sensorien suorituskyky kasvaa sekä vaikuttavien asejärjestelmien pitkän kantaman täsmävaikutus tehostuu ja lisääntyy [11; 18]. Toisin sanoen lähitulevaisuuden taistelukentän joukot ovat ryhmitykseltään hajautetumpia, taistelutila on tyhjempi ja taktinen liikkuvuus on runsaampaa. Tällainen taistelukentän olosuhteiden ja sen myötä myös sodan kuvan kehittyminen vaatii entistä tehokkaampia sensorijärjestelmiä sekä toimivaa tietoliikenneinfrastruktuuria. [11]

Selkeiden rintamalinjojen puuttuminen korostaa erityisesti tilannetietoisuuden merkitystä. Taistelukentällä vallitsevat välimatkat pidentyvät teknologian kehittymisen sekä joukkojen aikaisempaa hajautetumman käytön ansiosta. Teknologian kehittyminen mahdollistaa myös operaatioiden aiempaa varmemman onnistumisen vallitsevista sää- tai maasto-olosuhteista riippumatta. Tämä tarkoittaa siis myös sensorijärjestelmien entistä parempaa sääolosuhteiden sietokykyä. Asutuskeskustaistelut lisääntyvät, mikä edellyttää sensorijärjestelmiltä aiempaa tarkempia sekä läpitunkevampia tiedusteluominaisuuksia. [11]

Muuttuva sodan kuva asettaa UAV-tiedustelulle päivitettyt vaatimukset. Taistelukentällä toimivien henkilöiden vähentyessä määrällisesti on entistä autonomisemmin toimivien taisteluvälineiden kysyntä kasvussa. Tulevaisuudessa tiedustelu-UAV:iden tulee toimia entistä enemmän itsenäisesti ilman jatkuvaa ihmiskomponentin väliintuloa. [18] Taistelukentällä vallitsevien välimatkojen kasvaessa myös UAV:iden kantamien tulee kasvaa. Tämä toisaalta luo haasteita UAV:lle lavetin kantamusten muodossa: pidempi lentoaika ja -matka vaativat enemmän polttoainetta, mikä taas vaatii isomman polttoainesäiliön kautta joko suurempaa kantavuutta tai muille lavettiin kiinnitetyille laitteille varattua pienempää tilaa. Polttoainetaloudellisuuden kehittämisellä voidaan tätä dilemmaa kuitenkin kompensoida. Välimatkojen kasvaminen taistelukentällä tuo myös lisähaasteita UAV:n johtamiseen: UAV:n johtamisjärjestelmä datalinkkeineen on kuitenkin, kuten muutkin tiedonsiirtojärjestelmät, rajoittunut maksimikantamansa suhteen. Ei siis riitä, että UAV:n kantamaa pidennetään vain keskittymällä laitteen työntövoiman tuottavaan moottorijärjestelmään polttoaineineen, vaan laitteiston johtamisjärjestelmän tulee myös kehittyä samanaikaisesti.

### 3 TAKTISEN TASON LENNOKKITIEDUSTELUN TEKINEN KYKY 2010-LUVULLA

Tiedustelu-UAV:n käyttötarkoitus sekä toimintaympäristö määrittelevät UAV:n koon ja varustuksen. Tiedustelukäyttöön suunnitellun UAV:n koko vaihtelee yhden miehen kannettavasta, miniatyyrisestä lennokkijärjestelmästä jopa konventionaalisen liikelentokoneen kokoiseen, strategisen tason tiedustelua suorittavaan miehittämättömään ilma-alukseen. [11] Seuraavissa alaluvuissa käsitellään taktisen tason tiedustelu-UAV:n teknistä suorituskykyä tiedustelun näkökulmasta edellisessä pääluvussa esiteltyjen sodan kuvan asettamien vaatimusten valossa. Tutkielman aiheen tarkastelu on jaettu kahteen eri osaan: ensin käsitellään 2010-luvun alkupuolen eli nykyajan tekniikkaa, ja tämän jälkeen tarkastellaan lähitulevaisuuden eli 2010-luvun lopun tiedustelu-UAV:n teknistä kehitystä tiedustelusensorien osalta.

AAI RQ-7B Shadow 200 on yhdysvaltalaisvalmisteinen, yhtymätason tiedustelukäyttöön tarkoitettu miehittämätön ilma-alus. Shadow valittiin tutkimukseen, koska se on suunniteltu suorittamaan juuri taktisen tason tiedustelu- ja valvontatehtäviä. Lisäksi se on tällä hetkellä laajassa operatiivisessa käytössä Yhdysvaltain armeijalla (United States Army), jonka tavoitevahvuus on kyseisen UAV:n osalta yli 300. Kuvassa 1 oleva Shadow on rakenteeltaan varsin kevyt, ja se laukaistaan lentoon erityiseltä raiteelta katapulttiperiaatteella. Laskeutumisen helpottamiseksi tämä UAV sisältää myös vaijeripysäytykseen vaadittavan laitteiston. Shadow:ta on onnistuneesti käytetty muun muassa Irakissa sekä Etelä-Koreassa tukemassa maajoukkojen päätöksentekoa tuottamalla reaaliaikaista tiedusteludataa. [2; 27]



Kuva 1. AAI RQ-7B Shadow 200 -UAV varustettuna POP-300 -monisensorilla [19]

Taulukossa 2 on esitetty Shadow-tiedustelu-UAV:n oleelliset tekniset tiedot. Shadow kykenee kokoonsa nähden hyvään hyötykuormaan (27 kilogrammaa), toiminta-aikaan (7 tuntia) sekä -säteeseen (130 kilometriä). Shadow-UAV:n teknisiä tietoja tutkittaessa oli havaittavissa eroavaisuuksia käytettävästä lähteestä riippuen. Tuoreempi Roadmap-asiakirja antoi Shadow-UAV:lle heikommat arvot toimintasäteen ja -ajan osalta, mutta huippunopeudelle uudempi painos antoi merkittävästi suuremman arvon (280 kilometriä tunnissa). Kyseessä on kuitenkin todennäköisesti painovirhe. Sen lisäksi myös Birds of Prey -kirjan antamat tiedot ovat ristiriidassa molempien lähteenä käytettyjen Roadmap-asiakirjojen kanssa esimerkiksi massan sekä toimintasäteen osalta. Osa tiedoista on kuitenkin yhteneväisiä, kuten arvot hyötykuorman sekä maksimilentokorkeuden osalta. [2; 27; 30]

Taulukko 2. AAI RQ-7B Shadow 200 -UAV:n teknisiä tietoja [2; 27; 30]

Pituus (m)	3,4
Siipien kärkiväli (m)	4,3
Massa (kg)	170
Hyötykuorma (kg)	27
Toiminta-aika (h)	7
Toimintasäde (km)	130
Matka-/huippunopeus (km/h)	110/190
Maksimilentokorkeus (m)	4 600

### 3.1 Lennokkitiedustelun teknisen kyvyn mittaaminen

Miehittämättömillä ilma-aluksilla suoritettavan tiedustelun teknistä kykyä voidaan mitata monella eri tavalla. Käytettävä suorituskyvyn mittaamiskriteeri määräytyy ensisijaisesti tutkimuksen tulosten halutun käyttökohteen mukaan. Tässä kandidaatintutkielmassa UAV:lla suoritettavan tiedustelun teknistä kykyä mitataan tarkastelemalla sensoreita Johnsonin kriteerin sekä erottelukyvyn avulla. Tällä tavalla toimimalla pyritään saamaan mahdollisimman käytännönläheisiä tuloksia siitä, mihin nykyajan ja lähitulevaisuuden taktisen tason tiedustelu-UAV teknisesti kykenee.

Maksimaalinen etäisyys, jolta sensori voi saada havainnon kohteesta, on riippuvainen siitä, kuinka suuren kuvan eli kuinka monta kuvaelementtiä kohde muodostaa sensorissa olevalle ilmaisinmatriisille. Kohteesta vaadittavien kuvaelementtien määrä taas riippuu sensorilla saatavan kuvan käyttötarkoituksesta. Yleisesti käytetään niin sanottua Johnsonin kriteeriä, joka

perustuu kokeellisiin selvityksiin. Tämän kriteerin mukaan kuvan tulee olla vähintään kahden elementin kokoinen, jos kuvasta halutaan vain havaita kohde. Jos taas tarkoituksena on tunnistaa kohde, tarvitaan jo 8 kuvaelementtiä ilmaisimatriisilla. Kohteen yksilöintiin sensorin avulla vaaditaan 14 elementtiä. Käytännössä vaadittavien kuvaelementtien määrä on kuitenkin yleisesti ottaen suurempi kuin Johnsonin kriteerin mukaiset rajat. Muun muassa kohteen muoto sekä kuvaelementtien kontrasti taustaansa vasten vaikuttavat tähän. Johnsonin kriteeri on kuitenkin yksi keino, jonka avulla voimme käytännönläheisesti tarkastella sensorin toimintaetäisyyttä teorian kautta. [11]

Johnsonin kriteerin mukaan:

$$\text{Suurin havaitsemisetäisyys} \quad R_{\text{det}} = \frac{H_T * f * P}{2}$$

$$\text{Suurin tunnistusetäisyys} \quad R_{\text{rec}} = \frac{H_T * f * P}{8}$$

$$\text{Suurin yksilöintietäisyys} \quad R_{\text{id}} = \frac{H_T * f * P}{14}$$

Yllä olevissa kaavoissa  $H_T$  on kohteen pienin mitta metreinä,  $f$  on sensorin optiikan polttoväli millimetreinä ja  $P$  ilmaisee lukumääränä, kuinka monta elementtiä millimetrillä ilmaisimella on. Kaavojen tulos, etäisyys  $R$ , on metreissä. Näistä kaavoista on pääteltävissä, että sensorin optiikan polttoväliä pidentämällä tai ilmaisinelementtien tiheyttä kasvattamalla lisätään sensorin maksimitoimintaetäisyyttä. Nämä molemmat edellä mainitut tavat sensorin teknisen suorituskyvyn kasvattamiseksi ovat kuitenkin ongelmallisia. Optiikan polttovälin kasvattaminen johtaa näkökentän kaventumiseen sekä helposti myös koko sensorin ulkomittojen kasvamiseen. Jälkimmäisenä mainittu seikka voi pahimmillaan johtaa kyseisen sensorin käytön mahdottomuuteen esimerkiksi pienikokoisissa UAV:ssa. Nykyajan valmistustekniikka taas asettaa rajoitukset detektorielementtien tiheyden kasvattamiselle ilmaisimatriisissa. On kuitenkin huomattava, että Johnsonin kriteeriin liittyvillä kaavoilla ei saada selville todellisia havaitsemis-, tunnistus- tai yksilöintietäisyyksiä. Tämä on siksi, että kriteeri ei huomioi tarkasteltavasta kohteesta saatavan signaalin tason aiheuttamaa vaikutusta tai sensorin ilmaisimella olevien detektorielementtien laatua. Johnsonin kriteeri hyödyntää nimittäin näiden etäisyyksien määrittämiseen vain maalin ilmaisimelle projisoimaa kuvaa. [11] Tässä tutkielmassa ei kuitenkaan tarkastella sääolosuhteiden lisäksi muita mittaamiskriteerien luotettavuuteen heikentävästi vaikuttavia tekijöitä.



Erottelukyky tarkoittaa sitä, kuinka pieniä objekteja sensorijärjestelmä kykenee havaitsemaan kohdealueelta. 50 senttimetrin erottelukyvyllä sensori havaitsee alueelta teoriassa kaikki 50 senttimetrin kokoiset tai sitä suuremmat kappaleet. Alle 50 senttimetrin kokoiset objektit jäävät siis tältä esimerkin sensorilta havaitsematta. [11] Erottelukykä voidaan kuvata myös erilaisten standardien ja asteikkojen avulla. Naton laatima STANAG 4347 -asiakirja on yhtenäistämissopimus, jonka tarkoituksena on tarjota standardi eri lämpökameroiden suorituskyvyn vertailulle havainto-, tunnistus- ja yksilöintietäisyyksien muodossa. Tämän standardin mukaisesti tehdyissä käytännön kokeissa lämpökameralla tarkasteltavan kohteen koko on 2,3 x 2,3 -metriä, ja lämpötilaero taustaan verrattuna on 2 kelviniä. [16]

National Image Interpretability Rating Scales (NIIRS) -asteikkoa käytetään tässä tutkielmassa mittaamaan valitun monisensorin teknistä suorituskykä. NIIRS-asteikko on järjestelmätyypikohtainen, eli esimerkiksi tutkatekniikalla otetut kuvat arvioidaan omalla asteikolla ja infrapunakameralla otetut omallaan. NIIRS-asteikossa on kymmenen eri tasoa, joilla kuvataan kuvan laatua sekä kuvauslaitteiden suorituskykä. NIIRS-asteikon ääripäässä heikoimpana tasona on 0, jolloin kuvan tulkittavuuden esteenä on esimerkiksi pahoja varjostusraitoja tai erittäin huono resoluutio. NIIRS-asteikon toista ääripäätä taas edustaa taso 9, jolloin käytännössä esimerkiksi panssaroitujen ajoneuvojen yksilöinti on mahdollista. [20]

### 3.2 Nykyhetken tiedustelulennokin tiedusteluominaisuudet

Tällä hetkellä käytössä oleva Shadow-tiedustelu-UAV voi kantaa hyötykuormassaan erilaisia sensorijärjestelmiä [27]. Muun muassa israelilainen yritys, Israel Aerospace Industries (IAI), tarjoaa erilaisia tuotteita, joilla luodaan Shadow:lle tiedustelukyky. Yksi näistä IAI:n tarjoamista vaihtoehtoista on Tamam POP-300 -monisensori. Tamam POP-300 (Plug-in Optronic Payload, POP) on valmistajan mukaan pienikokoisuutensa lisäksi kevyt ja vakautettu monisensori, joka soveltuu käytettäväksi UAV:iden lisäksi myös muun muassa laivoissa sekä staattisissa ratkaisuisissa, esimerkiksi pylväissä. [6]

Tamam POP-300 -kokonaisuus koostuu useasta eri sensorista. Se sisältää lämpökameran lisäksi kameran lähi-infrapuna-alueen (Near Infrared, NIR) optiolla, ja sillä on myös kyky lasersoitukseen. [6] Tämän kyseisen monisensorin lämpökamera on monien muiden pienikokoisissa UAV:ssa käytettävien lämpökameroiden tapaan jäähdyttämätön [8]. Tamam POP-300 -sensori valittiin käytettäväksi Yhdysvaltain armeijan käyttämässä Shadow-tiedustelu-UAV:ssa, koska operatiiviset vaatimukset Afganistanin ja Irakin asutuilla alueilla vaativat

korkeamman resoluution omaavaa kuvauskalustoa. Tamam POP-300:n käyttöönotto paransi-kin Shadow:n tiedustelukuvauksen resoluutiota 30–40 prosenttia. [4]

Tamam POP-300 -monisensori sisältää automaattisen videoseurantalaitteen lisäksi aktiivisen vakautusjärjestelmän x- ja y-akseleilla, mikä tekee siitä hyvän vaihtoehdon asennusalueen epästabiiliudesta, esimerkiksi UAV:n lentämisestä, johtuvien värinöiden aiheuttamien ongelmien minimoimiseksi. Lisäksi sensorin soveltuu myös painoltaan (16,3 kilogrammaa) käytettäväksi tiedustelu-UAV:ssa. [6]

IAI:n valmistaman POP-300 -monisensorin lämpökamera toimii 3–5 mikrometrin alueella ja tuottaa 640 x 480 -pikselin kokoista kuvaa. Käyttäjä voi valita lämpökameran käytettäväksi erikokoisia näkökenttiä. Monisensorissa oleva lämpökamera tarjoaa nimittäin 4 eri näkökenttää, joiden suuruus vaihtelee välillä 29 x 22 - ja 1,15 x 0,86 -astetta. [6]

Oletetaan, että Shadow-UAV lentää tiedustelutehtävällään oletetun vihollisjoukon yli lentokorkeuden ollessa noin yksi kilometri. Jos POP-300 -monisensorin lämpökameran näkökentäksi on valittu laajin mahdollinen eli 29 x 22 -astetta, niin lämpökamera kykenee trigonometrisen tangenttifunktion avulla laskettuna näkemään kohtisuoraan maanpintaa kohti suunnattuna yhdellä kertaa noin 520 x 390 -metrin kokoisen alueen eli noin 20 hehtaaria kerrallaan. POP-300 -monisensorin lämpökamerasta ei löydy julkisista lähteistä tietoa, kuinka tarkka erottelukyky sillä on tai kuinka pitkän matkan päästä se kykenee havaitsemaan, tunnistamaan tai yksilöimään tietyn tyyppisen kohteen. Oletetaan kuitenkin, että tämän tasoisen sensorin suorituskyky vastaa kooltaan varsin samankokoisen, saksalaisen Aim Infrarot-Module GmbH -yrityksen valmistamaa  $\mu$ CAM-640 -lämpökameran jäähdyttämätöntä versiota. POP-300 -sensorin lämpökamera kykenee tämän arvion perusteella STANAG 4347 -standardin mukaan todennäköisesti tunnistamaan noin 400 metrin etäisyydeltä panssarivaunumaalin [1]. Tämän käytetyn standardin mukaan havaitsemisetäisyys on kolminkertainen tunnistusetäisyyteen verrattuna [16]. Tämän tiedon avulla saamme selville, että POP-300 -monisensorin lämpökamera kykenee hyvissä olosuhteissa havaitsemaan panssarivaunun kokoisen maalin noin 1 200 metrin etäisyydeltä. RQ-7B Shadow -miehittämätön ilma-alus pystyy siis esimerkin tapauksessa tiedustelutehtävällään havaitsemaan heikoissakin valaisuolosuhteissa vaunumaalin kilometrin lentokorkeudelta 20 hehtaarin kokoiselta maa-alueelta. Sääolosuhteet, kuten esimerkiksi pilvinen keli, voivat kuitenkin rajoittaa infrapunasäteilyä mittaavan lämpökameran toimintaa [13; 18].

POP-300 -monisensorin elektro-optinen kamera hyödyntää Charge-Coupled Device (CCD) -kennoa, joka on halkaisijaltaan  $1/6$  tuumaa ja sisältää  $768 \times 494$  -pikseliä [28]. Trigonometristen funktioiden avulla saadaan laskettua, että POP-300 -monisensorin kameran CCD-kennon ilmaisinmatriisilla olevien elementtien koko on noin 4,6 mikrometriä. Johnsonin kriteerin laskuja varten tulee selvittää muuttujan  $P$  arvo eli, kuinka monta ilmaisinelementtiä millimetrillä kennossa on. Peruslaskutoimituksen kautta selviää, että kyseisen sensorin kameran CCD-kennon muuttujan  $P$  arvo on noin 220. Voidaksemme hyödyntää Johnsonin kriteerin laskukaavoja tulee vielä selvittää muuttujan  $f$  arvo eli, mikä on sensorin polttoväli. Optiikan polttovälin ja läpimitan suhde  $f/d_0$  on suurimmillaan 1,5–5 [11]. POP-300 -monisensorin ulkokuoren halkaisija on 260 millimetriä [6], joten laitteen sisältämän kameran linssin voidaan arvella olevan alle 100 millimetriä läpimitaltaan. Arvion mukaan optiikan läpimitta on 50 millimetriä, jolloin polttovälin  $f$  arvo sijoittunee välille 75–250 millimetriä. Voidaksemme laskea Johnsonin kriteerin avulla arvioita sensorin suorituskyvystä eri etäisyyksien muodossa oletetaan, että POP-300 -monisensorin kameran optiikan polttoväli on 80 millimetriä.

Oletetaan kameran maalina olevan Suomen puolustusvoimien käytössä oleva Leopard 2A4 -taistelupanssarivaunu. Sen minimidimensio  $H_T$  on sen korkeus, joka on 2,79 metriä. [26] Tällöin Johnsonin kriteerin avulla laskettuna saadaan POP-300 -monisensorin elektro-optisen kameran havaitsemisetäisyydeksi noin 25 kilometriä, tunnistusetäisyydeksi noin 6 100 metriä ja yksilöintietäisyydeksi noin 3 500 metriä. Nämä lasketut etäisyydet ovat kuitenkin ainoastaan ideaalitulanteessa päteviä, sillä esimerkiksi huonot sääolosuhteet heikentävät elektro-optisen sensorin suorituskkyä merkittävästi ja voivat jopa estää kameran toiminnan kokonaan [13; 15].

Tamam POP-300 -sensorin laserosoitin (Laser Pointer) toimii 830 nanometrin aallonpituudella. Tämä laserlaite on ihmissilmälle turvallinen. [6] POP-300 -monisensorin laserosoitin ei kuitenkaan kykene laseria hyödyntämällä maalinosoitukseen asejärjestelmiä varten, vaan sillä voidaan esimerkiksi korostaa elektro-optisen sensorin tuottamasta kuvasta kohteita tai ilmasta käsin osoittaa maassa oleville joukoille vihollisia. Kohteen havaitseminen esimerkiksi pimeänäkölaitteilla on nimittäin huomattavasti helpompaa, kun maali on valaistu laserosoitimella. [21]

### 3.3 Lähitulevaisuudessa odotettavissa oleva kehitys tiedustelulennokin tiedusteluominaisuuksissa

RQ-7B Shadow -UAV on osoittautunut tehtävänsä hyvin soveltuvaksi, mutta sen toimenkuvaa halutaan lähitulevaisuudessa laajentaa. Sen sijaan, että Shadow-UAV suorittaisi tulevaisuudessa ainoastaan lentotiedustelua ilman asevaikutuksen mahdollisuutta, on Yhdysvaltain armeija lisäämässä Shadow-UAV:lle kyvyn myös lennon aikana tapahtuvaan maalinosoitukseen. [2] Shadow-UAV:n suorittama tiedustelu on siis muuttumassa astetta aggressiivisempaan suuntaan, jolloin myös sen vihollisen joukoille aiheuttama uhka kasvaa entisestään.

Shadow-UAV:n monisensori on tarkoitus päivittää viimeistään vuoden 2015 aikana saman valmistajan tarjoamaan, kehittyneempään malliin POP-300 -sensorikokonaisuudesta. Päivitetty monisensori kantaa nimeä POP-300D. [2] Tämä sensori sisältää suorituskypyisemmän optiikan ja 1,54 mikrometrin aallonpituudella toimivan laseretäisyysmittarin lisäksi lasermaalinosoitusjärjestelmän [7]. Tällä järjestelmällä on tarkoitus kyetä osoittamaan maali esimerkiksi yhdysvaltalaisten taisteluhelikopterien käyttämälle AGM-114 Hellfire -ohjukselle. Muun muassa kehittyneemmän optiikan ansiosta sensorilla saavutettavan maksimaalisen havaitsemisetäisyyden arvioidaan kasvavan 20 prosenttia. Tämä yhdistettynä sensorin sisältämään kuvanparannuslaitteeseen (Video Enhancement Device, VED) voi arvioiden mukaan lisätä sensorin tunnistusetäisyyttä 30–40 prosenttia sekä parantaa sensorin yksilöintikykyä. [2] Edellisessä alaluvussa Johnsonin kriteerin avulla lasketut arvot POP-300 -sensorin suorituskypyvyyttä paransivat siis merkittävästi. POP-300D -monisensorin kameran Leopard 2A4 -taistelupanssarivaunun havaitsemisetäisyys olisi noin 29 kilometriä ja tunnistusetäisyys noin 8 300 metriä optimaalisissa olosuhteissa. Lämpökameralla panssarivaunun kokoisen maalin havaitsemisetäisyys kasvaisi ideaalisissa olosuhteissa noin 1 400 metriin. Shadow-UAV kykenisi siis havaitsemaan vaunumaalin 1 300 metrin lentokorkeudelta noin 670 x 510 -metrin eli 34 hehtaarin kokoiselta alueelta hyvissä olosuhteissa.

Laserilla tapahtuvan maalinosoituksen toimintaperiaate on yksinkertainen. Tässä tapauksessa POP-300D -monisensori toimii laservalaisulaitteistona, joka lähettää neodyymi (Nd) -laserillaan suuritehoista, aallonpituudeltaan 1 064 nanometristä lasersädettä kohteena olevaan maaliin. Tämä lasersäde heijastuu maalin pinnasta, esimerkiksi panssarilevystä tai muusta materiaalista, laservalaisuun hakeutuvan ammuksen hakupäähän. Hakupää kykenee lasersäteen ominaisuuksien perusteella antamaan taisteluvälineelle, esimerkiksi juuri Hellfire-ohjukselle, ohjauskomentoja, joiden perusteella taisteluväline muuttaa lentorataansa hakeutuen näin laserva-

laisun avulla puoliaktiivisesti maaliin. Laservalaisuun perustuvan hakeutumisjärjestelmän suorituskky kuitenkin laskee dramaattisesti huonoissa sääolosuhteissa. [11] Pimeys ei ole este järjestelmän toiminnalle, mutta pilvet ja sumu haittaavat laserjärjestelmän toimintaa merkittävästi. Kova sade voi jopa estää laserilla tapahtuvan maalinosoituksen. [13]

Shadow-UAV on saamassa kehittyneemmän monisensorin lisäksi uusia laitteistoja hyötykuormaansa. RQ-7B -versioon on tulossa kehittyneempi automaattinen videoseurantajärjestelmä (Video Verification of Identity, VIVID), joka mahdollistaa useamman maalin samanaikaisesti tapahtuvan seurannan hyödyntämällä elektro-optiselta sensorilta saatua kuvaa. Lisäksi Shadow-UAV:sta on tulossa uusi versio, RQ-7C, jonka on tarkoitus tulla käyttöön 2010-luvun loppupuolella. Tämä tuorein malli nostaa taktisen tason miehittämättömällä ilma-aluksilla suoritettavan tiedustelun ainakin Shadow-UAV:lla uudelle tasolle, sillä sen on tarkoitus kantaa hyötykuormassaan monisensorin lisäksi signaalitiedusteluun kykenevää sensoria sekä synteettisen apertuurin tutkaa (Synthetic Aperture Radar, SAR). [2] SAR-tutkan toiminta perustuu lyhyiden pulssien lähettämiseen yhdistettynä ilmalavetin liikkeeseen, minkä avulla tutkan antennin kokoa saadaan keinotekoisesti kasvatettua. SAR-tutkalla saavutetaan yleensä hyvä erottelukyky, jonka avulla voidaan suorittaa maalien etsintää, luokittelua ja yksilöintiä elektro-optisen sensorin tavoin. Nykyaikaisten SAR-tutkien erottelukyky on jo alle 50 senttimetriä. Tulevaisuuden superresoluutiomenetelmillä SAR-tutkan erottelukyky voi olla niinkin pieni kuin 15 senttimetriä. [11] NIIRS-asteikon mukaan 40–75 senttimetrin erottelukyvyllä voidaan esimerkiksi erottaa eri vaunumalleja toisistaan (esimerkiksi T-72 ja T-80). 15 senttimetrin erottelukyky sijoittuu NIIRS-luokkaan 8, jossa kyetään esimerkiksi yksilöimään ilmatorjuntaajoneuvoja. [20] SAR-tutkan yhdeksi merkittävimäksi eduksi voidaan myös laskea sen kyky toimia minkälaisissa sää- ja valaisuolosuhteissa tahansa [13].

Kaiken kaikkiaan miehittämättömät ilma-alukset ovat lähitulevaisuudessa yhä autonomisempia sekä pystyvät paremmin toimimaan erilaisissa, vaikeissakin olosuhteissa. Toiminta-ajan ja -säteen oletetaan kasvavan teknologian kehittyessä. Lisäksi sensorien suorituskyyvyn arvioidaan yleisesti kasvavan etäisyyksien osalta neljänneksellä vuoteen 2025 mennessä. [2]

## 4 YHDISTELMÄ

### 4.1 Keskeisimmät johtopäätökset

Tässä kandidaatintutkielmassa tarkasteltiin taktisen tason lennokkitiedustelun kykyä 2010-luvulla teknisestä näkökulmasta. Tutkimuksen päämääränä oli laadullisen kirjallisuusselvityksen avulla saavuttaa helposti käytäntöön sidottavia tuloksia, joita voitaisiin hyödyntää esimerkiksi varusmiesten sekä Puolustusvoimiin kuuluvan henkilökunnan koulutuksessa. Tutkielman tarkoituksena oli vastata päätutkimuskysymykseen: mikä on taktisen tason lennokkitiedustelun tekninen kyky 2010-luvulla? Tätä pääkysymystä alustettiin selvittämällä ensin, minkälainen 2010-luvun sodan kuva on ja minkälaisia vaatimuksia se asettaa lennokkitiedustelulle. Tässä tutkimuksessa aiheen tarkastelu rajattiin koskemaan ainoastaan AAI RQ-7B Shadow 200 -mallista miehittämätöntä ilma-alusta. Shadow kantaa hyötykuormassaan useimmiten IAI:n valmistamaa Tamam POP-300 -monisensoria, jonka teknistä suorituskkyä mitattiin Johnsonin kriteerin sekä erottelukyvyn avulla.

Maavoimien uudistetun taistelutavan myötä tilannetietoisuuden rooli taistelukentällä on merkittävämpi kuin koskaan. Entistä laajemman alueen valvominen entistä pienemmillä joukoilla vaatii muun muassa tiedustelusensorien kustannustehokasta hyödyntämistä. Hajautetun taistelutavan onnistuminen vaatii tilannetietoisuuden osalta ylivoiman viholliseen nähden. Rikkonainen ja sekava taistelukenttä, epäsymmetrinen sodankäynti sekä nopealla tempolla vaihtuvat, yllättävät tilanteet vaativat tarkkaa sekä nopeasti päivittyvää tiedustelutietoa ympärillä vallitsevasta tilanteesta. Johtajan on hyvin haastavaa tehdä ratkaisevia päätöksiä ilman päätöksentekoprosessia tukevia tiedustelutietoja. Erilaiset tiedustelutehtäviin tarkoitetut miehittämättömät ilma-alukset sopivat tähän tarkoitukseen erinomaisesti, sillä nykyaikaisella tiedustelukäyttöön tarkoitettulla UAV:lla voidaan tuottaa lähes reaaliaikaista dataa johtoportaille.

Osasyö UAV:iden suosion kasvuun on henkilötappioiden riskin vähentämisen tavoittelemisen, sillä tämä ilman ihmistä lentävä taisteluväline voidaan huolettomammin lähettää suorittamaan vaarallisia tiedustelutehtäviä vihamieliselle alueelle. Miehittämättömistä ilma-aluksista puhuttaessa alasampumisen aiheuttama tappio on lähinnä taloudellinen, mikä on paljon hyväksyttävämpää nyky-yhteiskunnalle kuin ihmistappio. UAV:lla on myös etulyöntiasema pitkäkestoisissa operaatioissa, sillä UAV:n operaattoria voidaan vaihtaa maa-asemalla itse ilma-aluksen jatkaessa tiedustelua toiminta-alueella. Konventionaalisen tiedustelulentokoneen ohjaajan vaihtaminen ei nykytekniikalla onnistu ilman laskeutumista, mikä yleensä vaatii ris-

kialttiilta toiminta-alueelta poistumista ja näin ollen aiheuttaa katkoksen tiedustelutoiminnassa.

Tulevaisuudessa taistelukentällä vallitsevat välimatkat kasvavat teknologian kehittymisen ohella entistä hajautetumman taistelutavan takia. Tämä vaatii muun muassa sensorien suorituskyvyn sekä toimintavarmuuden kehittymistä. Taistelukentällä olevien joukkojen vähenemisen takia tiedustelu-UAV:n tulee kyetä toimimaan entistä autonomisemmin ihmisen järjestelmään puuttumisen vähentyessä. Tulevaisuus tuo edellä mainittujen muutosten myötä haasteita tiedustelu-UAV:n toimintaan muun muassa polttoainetaloudellisuuden sekä UAV:n johtamisjärjestelmän rajoitteiden suhteen.

Tutkimustulosten perusteella taktisen tason tiedustelu-UAV:n tekninen tiedustelukyky on merkittävä. Shadow-UAV kykenee tutkimuksen mukaan havaitsemaan vaunumaalin pimeässäkin kilometrin lentokorkeudelta 20 hehtaarin kokoiselta alueelta. POP-300 -monisensorin kameran tekninen tiedustelukyky on myös merkittävä. CCD-kennoa hyödyntävä elektrooptinen sensori kykenee esimerkiksi havaitsemaan Leopard 2A4 -taistelupanssarivaunun noin 25 kilometrin päästä, tunnistamaan sen juuri Leopard-malliseksi noin 6 100 metrin päästä sekä yksilöimään sen eri varusteiden tarkkuudella 2A4-variaatioksi noin 3 500 metrin päästä. Kun nämä edellä mainitut tiedustelukyvyyt yhdistetään Shadow-UAV:n matkanopeuteen sekä toiminta-aikaan, on selvää, että jopa Shadow:n kaltainen, taktisen tason tiedustelukäyttöön tarkoitettu miehittämätön ilma-alus luo vihollisen maajoukoille merkittävän uhkan, joka vihollisen on ehdottomasti huomioitava toiminnassaan.

Lämpö- sekä CCD-kennokameran lisäksi Shadow-UAV:n hyötykuormassaan kantama POP-300 -monisensori sisältää laserosoittimen, jolla ei kuitenkaan ole kykyä laserin avulla tapahtuvaan maalinosoitukseen. Tämän laserosoittimen tarkoituksena on mahdollistaa erilaisten kiinnostavien kohteiden korostaminen esimerkiksi elektrooptisen sensorin tuottamasta kuvasta. Tällä tavoin Shadow-UAV kykenee esimerkiksi osoittamaan pimeänäkölaitteita käyttäville erikoisjoukoille tuhottavan kohteen. Tukikohtaympäristössä erikoisjoukkojen sabotointi- sekä muun tuholais toiminnan uhka on merkittävä, jolloin myöskään ilmassa lentävää tiedustelu-UAV:ta ja sen merkitystä erikoisjoukkojen toiminnalle ei sovi aliarvioida.

Kuluvan vuosikymmenen puolivälissä Yhdysvaltain armeijan käyttämien Shadow-UAV:iden hyötykuormien monisensori on tarkoitus päivittää suorituskkyisempään, IAI:n valmistamaan Tamam POP-300D -malliin. Päivitetty malli sisältää kehittyneemmän optiikan lisäksi muun

muassa VED-laitteiston, minkä arvioidaan parantavan monisensorin havaitsemisetäisyyttä 20 prosentilla ja tunnistusetäisyyttä 30—40 prosentilla. Tämä tarkoittaa esimerkiksi CCD-kennokameralla sitä, että Leopard 2A4 -taistelupanssarivaunun havaitsemisetäisyys kasvaisi noin 29 kilometriin ja tunnistusetäisyys noin 8 300 metriin optimaalisissa olosuhteissa. Lämpökameralla tämä tarkoittaisi esimerkiksi havainnollistaen sitä, että Shadow-UAV kykenisi hyvissä olosuhteissa havaitsemaan vaunumaalin 1 300 metrin lentokorkeudelta noin 34 hehtaarin kokoiselta alueelta.

Parantuneen suorituskyvyn lisäksi POP-300D -monisensori sisältää laseretäisyysmittarin sekä -maalinosoitusjärjestelmän. Shadow-UAV kykenee päivittyneellä monisensorillaan osoittamaan maalin esimerkiksi taisteluhelikopterien käyttämille AGM-114 Hellfire -ohjuksille. POP-300D -monisensori muuttaa Shadow-UAV:n roolia taistelukentällä siis astetta aggressiivisempaan suuntaan, koska tämä lähtökohtaisesti tiedustelukäyttöön suunniteltu miehittämätön ilma-alus kykenee sensoripäivityksen jälkeen osallistumaan maalinosoituskyvyllään myös tulitaisteluun, tosin edelleen taistelua tukevassa roolissa.

Ennen vuosikymmenen vaihtumista Shadow-UAV:n on tarkoitus saada kehittyneemmän monisensorin lisäksi hyötykuormaansa VIVID-videoseurantalaitteisto, joka mahdollistaa useamman maalin samanaikaisen automaattisen seurannan. Tämä helpottaa Shadow:n sensoreita ohjaavan operaattorin toimintaa merkittävästi. Lisäksi ennen 2020-lukua on suunniteltu otettavaksi käyttöön Shadow-UAV:sta päivitetty malli, RQ-7C. Tämän mallin merkittävin muutos edeltäjäänsä on sen hyötykuormassaan signaalitiedusteluun kykenevän laitteiston ohella oleva SAR-tutka. SAR-tutkan käytöllä voidaan nykyteknologian avulla saavuttaa jopa 15 senttimetrin erottelukyky, joka mahdollistaa esimerkiksi ilmatorjunta-ajoneuvojen yksilöinnin. Lisäksi SAR-tutka kykenee toimimaan sää- ja valaisuolosuhteista riippumatta, mikä on merkittävä etu. Lähitulevaisuuden taktisen tason tiedustelukäyttöön tarkoitettu miehittämätön ilma-alus kykenee siis sensoreidensa osalta joka sään toimintakykyyn, mikä on huomioitava omaan toimintaan kohdistuvan uhkan arvioimisessa. Maajoukot eivät siis enää voi luottaa esimerkiksi kovan sateen tai paksun sumun tuomaan turvaan UAV:n sensoreita vastaan.

Vallitsevien kehitystrendien jatkuessa ennallaan miehittämättömien ilma-alusten aseistuksen merkitys kasvanee. Tämä saattaa aiheuttaa sen, että alun perin tiedustelukäyttöön suunniteltu Shadow-UAV kantaa tulevaisuudessa sensorihyötykuorman lisäksi mahdollisesti myös asekuormaa. Tällöin Shadow kykenisi suorittamaan entistä aggressiivisempia tiedustelutehtäviä, joissa se voisi jopa itsenäisesti tuhota tiedustelemiaan kohteita. Samalla Shadow ei enää olisi



pelkästään UAV, vaan pikemminkin miehittämätön taisteluilma-alus (Unmanned Combat Aerial Vehicle, UCAV). UAV-tiedustelu kasvattaa joka tapauksessa jatkuvasti rooliaan nykyajan taistelukentällä nopean reagointikykyä, tarkkuutensa, kustannustehokkuutensa sekä tunkeutuvuutensa ansiosta tilannetietoisuuden merkityksen samalla korostuessa. Tutkija ei kuitenkaan usko UAV:iden kykenevän täysin korvaamaan fyysisesti paikalla olevilla ohjaajilla varustettujen, miehitettyjen ilma-alusten roolia itsenäiseen ajatteluun kykenevinä, toiminnaltaan joustavina sekä ennakoivina taistelukoneina. Miehittämättömien ilma-alusten kyky toimia tehokkaasti erilaisissa toimintaympäristöissä erilaisine sääolosuhteineen on nimittäin vielä varsin rajoittunutta esimerkiksi toimintaan vaadittavan herkän teknologian sääolosuhteiden huonon sietokyvyn takia.

Tulee kuitenkin huomioida, että tässä tutkimuksessa saadut laskennalliset tulokset ovat lähinnä viitteellisiä, sillä esimerkiksi erilaisia etäisyyksiä laskettaessa ei ole huomioitu sääolosuhteita tai muita sensoritekniikkaan heikentävästi vaikuttavia tekijöitä. Laskutoimituksista saadut tulokset pätevät siis ainoastaan teoreettisella tasolla optimaalisissa olosuhteissa. Tarkastelun kohteina olleiden monisensoreiden käytännön suorituskyky ei siis yllä laskuilla saatuihin tuloksiin. Esimerkiksi huonot sääolosuhteet voivat jopa kokonaan estää sensorin CCD-kennokameran toiminnan ja laserilla tapahtuvan maalinosoituksen. Tutkimuksessa saavutettujen tulosten sitominen käytännön toimintaan on puhtaasti teoreettisen lähestymistavan lisäksi kärsinyt sensorien tiettyjen teknisten ominaisuuksien virallisten arvojen puuttumisesta. Esimerkiksi POP-300 -monisensorin lämpökameran teknisestä suorituskyvystä ei löydy tarkkoja tietoja julkisista lähteistä, minkä takia tutkija on joutunut turvautumaan teknisten tietojen vertailuun muiden vastaavanlaisten sensorien kanssa. Saavutetut laskennalliset tutkimustulokset eivät siis ole täysin objektiivisia.

## 4.2 Jatkotutkimuksen tarve

Tässä tutkielmassa aihetta rajattiin tarkoituksella paljon, jotta aiheen yleisluontoiselta esittelystä välttyttäisiin. Tästä syystä johtuen moni aiheeseen hyvin kriittisestikin liittyvä asia jätettiin käsittelemättä. Lennokkitiedustelun kykyyn vaikuttaa nimittäin oleellisesti hyötykuormana olevien sensorien suorituskyvyn lisäksi myös esimerkiksi tiedonsiirtojärjestelmä tiedustelu-UAV:n ja maa-aseman tai muiden maassa olevien joukkojen välillä. Vaikka UAV kykenisikin esimerkiksi tuottamaan korkealaatuista kuvaa reaaliaikaisesti, jos ei tätä tiedusteludataa saada siirrettyä tiedon tarvitsijoille riittävän tehokkaasti, niin UAV:n tiedustelukykyä ei päästä täysin määräisesti hyödyntämään. Jatkotutkimusta voisi siis kohdentaa erityyppisten sensorien tut-

kimisen lisäksi erilaisten tiedonsiirtotekniikoiden tarkasteluun UAV-tiedustelun näkökulmasta.

Tutkijan tarkoituksena oli saada selville etenkin maavoimien kannalta mahdollisimman käytännönläheisiä tuloksia, joita voisi hyödyntää esimerkiksi varusmieskoulutuksessa. Tutkielman aihetta voisi kuitenkin tutkia myös enemmän muiden puolustushaarojen näkökulmasta. Esimerkiksi merellisiin olosuhteisiin on suunniteltu erilaisia miehittämättömään ilma-alukseen sopivia sensoreita, joita hyödyntämällä voitaisiin mahdollisesti havaita muun muassa pinnan alla olevia sukellusveneit. Lisäksi tutkimusta aiheen olisi voinut rajata koskemaan enemmän tulevaisuutta. Tämä tosin olisi vaikeuttanut tutkielman tekemistä, mutta toisaalta ennakkointi on yksi sotilaan korkeimmista hyveistä.

Suomen puolustusvoimilla on tavallisten, esimerkiksi ilmatorjunnan hyödyntämien, maalilennokkien lisäksi myös tiedusteluun kykeneviä miehittämättömiä ilma-aluksia. Kenttätykistö kykenee tietyillä järjestelmillään hyödyntämään maalitiedustelussa RUAG Ranger -UAV:ta. Tutkielmassa olisikin voinut keskittyä enemmän Suomen puolustusvoimiin. Ainakin tällä hetkellä Yhdysvallat on kuitenkin yksi UAV-tiedustelun huippuosajista, joten UAV:iden nykyistä kykyä tutkittaessa on Yhdysvaltojen valinta tarkastelun kohteeksi perusteltua. Shadow-UAV:n kyky lasermaalinosoitukseen on kuitenkin myös Suomen puolustusvoimien kannalta ajateltuna mielenkiintoinen. Ilmavoimien F-18 Hornet -kaluston ilmasta maahan -kyky voisi nimittäin tulevaisuudessa hyödyntää asekuormansa haluttuun kohteeseen toimittamiseen Shadow-UAV:n laserilla tapahtuvaa maalinosoitusta. Tutkielman aiheen runsaampi tarkasteleminen Suomen puolustusvoimien näkökulmasta lisäisi tutkimuksesta saatavaa hyötyä.

## LÄHTEET

- [1] AIM Infrarot-Module GmbH. *μCAM – FLIRs for Small UAVs*. [viitattu 21.1.2013]. Saatavissa: [http://www.aim-ir.com/fileadmin/files/Data\\_Sheets\\_Thermal\\_sights/AIM\\_data\\_sheet\\_\\_Cam-640.pdf](http://www.aim-ir.com/fileadmin/files/Data_Sheets_Thermal_sights/AIM_data_sheet__Cam-640.pdf)
  
- [2] Army UAS CoE Staff. *U.S. Army Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010 – 2035 – Eyes of the Army*. U.S. Army UAS Center of Excellence: 2010. 140 s.
  
- [3] Artman, K., Westman, A. *Lärobok i Militärteknik, vol. 2: Sensorteknik*. 1. painos. Vällingby: Elanders, 2007. 135 s. ISBN 978-91-85401-73-4.
  
- [4] Egozi, A. *Tamam to upgrade US Army Shadow UAV sensors*. [viitattu 6.8.2012]. Saatavissa: <http://www.flightglobal.com/news/articles/tamam-to-upgrade-us-army-shadow-uav-sensors-322392/>
  
- [5] Hartikainen, E. *Vaikuttaminen maavoimien uudistetussa taistelutavassa*. Sotilas-aikakauslehti, 2012. Vol. 87, no. 915, p. 14–23. ISSN 0038-1675.
  
- [6] Israel Aerospace Industries. *POP300*. [viitattu 8.8.2012]. Saatavissa: [http://www.iai.co.il/sip\\_storage/FILES/5/33885.pdf](http://www.iai.co.il/sip_storage/FILES/5/33885.pdf)
  
- [7] Israel Aerospace Industries. *POP300D*. [viitattu 8.8.2012]. Saatavissa: [http://www.iai.co.il/sip\\_storage/FILES/0/36970.pdf](http://www.iai.co.il/sip_storage/FILES/0/36970.pdf)
  
- [8] Jormakka, J., Rissanen, A. (toim.). *State-of-the-Art in Sensors*. 1. painos. Helsinki: Edita Prima Oy, 2006. 143 s. ISBN 951-25-1650-0.
  
- [9] Jouko, P. Operaatiotaito ja taktiikka oppiaineina; keskeiset käsitteet ja määritelmät. Helsinki 21.2.2011, Maanpuolustuskorkeakoulu. Luentomateriaali.
  
- [10] Kananen, J. *Miehittämättömät ilma-alukset, niiden kehitys sekä käyttö viimeaikaisissa sodissa*. Pro Gradu -tutkielma. Helsinki, 2007. Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos. 100 s.

- [11] Kosola, J., Solante, T. *Digitaalinen taistelukenttä. Informaatioajan sotakoneen tekniikka*. Tekniikan laitos, julkaisusarja 1, n:o 13, 2. painos. Helsinki: Edita Prima Oy, 2003. 532 s. ISBN 951-25-1449-4.
- [12] Laari, T. Ilmapuolustus ja ilmasodan kuva maavoimien näkökulmasta. Helsinki 28.2.2011, Maanpuolustuskorkeakoulu. Luentomateriaali.
- [13] Lehto, I. *Ilmatorjuntaohjuspatterin (05M) taistelutekninen käsikirja*. Tampere: Juvenes Print Oy, 2012. 220 s. SAP 10344433.
- [14] Maavoimaosasto. *Tiedusteluopas*. 1. painos. Helsinki: Edita Prima Oy, 2003. 217 s. ISBN 951-25-1416-8.
- [15] Maavoimien esikunta. *Toimintaympäristöanalyysiopas*. Tampere: Juvenes Print Oy, 2011. 152 s. SAP 7610-10204692.
- [16] Military Agency for Standardization, NATO. *STANAG No. 4347. Definition of nominal static range performance for thermal imaging systems*. [viitattu 8.1.2013]. Saatavissa: [http://www.everyspec.com/NATO/NATO-STANAG/STANAG\\_4347\\_13663/](http://www.everyspec.com/NATO/NATO-STANAG/STANAG_4347_13663/)
- [17] Nikkola, L. Tietoverkot. Helsinki 11.6.2012, Maanpuolustuskorkeakoulu. Luentomateriaali.
- [18] Pasivirta, P. (käänt.). *Teknisen kehityksen suuntalinjat*. Tekniikan laitos, julkaisusarja 4, n:o 1. Helsinki: Edita Oyj, 2002. 216 s. ISBN 951-25-1338-2.
- [19] Peniston, B. *Sweden To Deploy Shadow UAVs in 2011*. Defense News, 2010. Posted 17.6.2010 [viitattu 18.3.2013]. Saatavissa: <http://blogs.defensenews.com/eurosatory/2010/06/17/sweden-to-deploy-shadow-uavs-in-2011/>
- [20] Pike, J. *National Image Interpretability Rating Scales*. [viitattu 8.1.2013]. Saatavissa: <http://www.fas.org/irp/imint/niirs.htm>

- [21] PVP Advanced EO Systems Inc. *Night Hawk. Long Range Laser Pointer/Designator*. [viitattu 21.1.2013]. Saatavissa: <http://www.pvpaeo.com/products/specs/pdf%20files/Night%20Hawk%20Long%20Range%20Laser%20Pointer-Designator-1.pdf>
  
- [22] Rintala, H. *Sotilaslentäjän fyysinen suorituskyky sekä työperäiset tuki- ja liikuntaelinoireet*. Väitöskirja. Tampere: Tampereen yliopistopaino Oy, 2012. 199 s. ISBN 978-951-25-2374-0.
  
- [23] Saarelainen, J., Metteri, J. (toim.). *Sodan ja taistelun kuva*. Taktiikan laitos, julkaisusarja 2 n:o 3. Helsinki: Edita Oy, 2000. 125 s. ISBN 951-25-1192-4.
  
- [24] Sirniö, K. Vihollisen maaoperaatiot ja maasodankuva, maavoimien toiminta. Helsinki 22.2.2012, Maanpuolustuskorkeakoulu. Luentomateriaali.
  
- [25] Soininen, M. *Tieteellisen tutkimuksen perusteet*. 1. painos. Turku: Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus, 1995. 182 s. ISBN 951-29-0587-6.
  
- [26] Suomen Puolustusvoimat. *Leopard 2A4*. [viitattu 22.1.2013]. Saatavissa: <http://www.puolustusvoimat.fi/portal/puolustusvoimat.fi/?urile=wcm:path:/SU+Puolustusvoimat.fi/Puolustusvoimat.fi/Maavoimat/Perustietoa/Maavoimien+kalustoa+sivustoalueen+etusivu/Panssarivaunut+Maavoimien+kalustoa/Taistelupanssarivaunut+Panssarivaunut+Maavoimien+kalustoa/Leopard+2+A4+Taistelupanssarivaunut+Panssarivaunut+Maavoimien+kalustoa/>
  
- [27] United States Department Of Defence. *Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005 – 2030*. Department Of Defence: 2005. 213 s.
  
- [28 ] Weatherington, D. *Unmanned Aircraft Systems Sensors*. 2005, OSD UAV Planning Task Force OUS (AT&L) Defense Systems Air Warfare. Luentomateriaali. 45 s.
  
- [29] Yenne, B. *Attack of the Drones. A History of Unmanned Aerial Combat*. Minnesota (USA): Zenith Press, 2004. 127 s. ISBN 0-7603-1825-5.

- [30] Yenne, B. *Birds of Prey. Predators, Reapers and America's Newest UAVs in Combat*. Minnesota (USA): Specialty Press, 2010. 159 s. ISBN 978-1-58007-153-6.

## **LIITTEET**

Liite 1      Keskeiset käsitteet

## Keskeiset käsitteet

**Miehittämättömällä ilma-aluksella** tarkoitetaan kiinteä- tai muuttuvasiipistä, moottoroitua ilma-alusta, jonka kyydissä ei fyysisesti ole henkilöstöä. UAV käyttää aerodynamiikkaa muiden konventionaalisten ilma-alusten tapaan nostovoiman tuottamiseen ja pystyy lentämään autonomisesti tai kauko-ohjattuna. UAV:ta on erilaisia erilaisiin tarkoituksiin: UAV voi olla niin sanottua kulutustavaraa ollen tarkoituksella kertakäyttöistä (esimerkiksi maalilennokit) tai se voi olla perinteisten lentokoneiden tapaan uudelleen käytettävä (esimerkiksi tiedustelu-UAV). UAV:n hyötykuorma voi koostua erilaisista osista, muun muassa sensoreista sekä taisteluvälineistä (esimerkiksi ohjukset). [27]

Sotilaallisella **tiedustelulla** tarkoitetaan viholliseen tai maastoon kohdistuvaa tietojen hankkimista. Tiedustelulla arvioidaan vihollisen toimintamahdollisuuksia ja erilaisten taistelutapojen vaikutuksia omaan toimintaan huomioiden oma toimintaympäristö. Tiedustelu voidaan toteuttaa muun muassa stationäärisenä tähystystiedusteluna hyödyntämällä elektro-optisia laitteita tai salakuuntelemalla vihollisen viestiliikennettä erilaisilla kyseiseen tarkoitukseen suunnitelluilla elektronisilla välineillä (esimerkiksi radiot). Tiedustelun tärkeimpänä tarkoituksena on tukea päätöksentekoa. [14]

Käsite ”**kyky**” voidaan ymmärtää monella eri tavalla. Toisaalta kyky voi tarkoittaa ylipäänsä mahdollisuutta tehdä jotakin (esimerkkikysymys: ”Onko UAV:lla kyky tiedustella?”), kun taas toisaalta kyvyllä voidaan tarkoittaa myös tämän kyseisen mahdollisuuden ominaisuuksia (esimerkkikysymys: ”Kuinka tarkka erottelukyky tiedustelu-UAV:lla on?”). Tässä tutkielmassa kyvyllä tarkoitetaan suorituskyyä, joka koostuu teknisestä sekä inhimillisestä käyttöhenkilöstön muodostamasta suorituskyyvystä [11]. Käytettävien laitteiden ja laitteistokokonaisuuksien suorituskyyky muodostaa teknisen suorituskyyvyn, jonka tulee olla saumattomassa yhteistoinnassa laitteistoa käyttävän henkilöstön kanssa laitejärjestelmän tehokkuuden maksimoimiseksi [11]. Tämän kandidaatintutkielman pääpaino on miehittämättömillä ilma-aluksilla suoritettavan tiedustelun suorituskyyvyn etenkin teknisessä eli tässä tapauksessa materiaalisessa sekä käyttö- ja toimintaperiaatteellisessa tarkastelussa.



**Sensorilla** tarkoitetaan tekniikassa mittalaitteen osaa, joka reagoi ympäristönsä kanssa. Pohjimmiltaan sensorin tehtävänä on kerätä ympäristöstään tietoa eli dataa, jolla voidaan tukea päätösten tekemistä. [3] Sensorien toiminta perustuu kohteena olevan ”maalin lähettämän tai maalista heijastuvan fysikaalisen suureen vastaanottoon ja tulkintaan”. Sensori itsessään ei kuitenkaan esimerkiksi tuo esille visuaalisesti näitä keräämiään tietoja ympäristöstään, vaan tietojen esille tuontiin vaaditaan erillinen näyttölaite tai pääte. Teknisenä laitteena sensorin primäärisenä tehtävänä on kohteesta mitattavan fysikaalinen suureen muuttaminen digitaaliseksi signaaliksi. Nykyaikainen sensori voi kuitenkin pelkän binäärisen näytejonon lisäksi myös esiprosessoida tuottamaansa dataa. Tämä esiprosessointi voi sisältää esimerkiksi kohinan suodatuksen tai optiikan virheiden automaattisen kompensoinnin. [11]